

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2019.03.09

北京怀柔三道沟泥石流沟内松散物源 高密度电法探测及效果分析

刘才伟

(北京市地质研究所, 北京 100120)

摘要: 三道沟泥石流沟流域位于北京市怀柔区琉璃庙镇崎峰茶村, 是泥石流地质灾害的易发区和高发区, 历史上曾发生过多次泥石流地质灾害。本文通过使用高密度电法对三道沟泥石流沟中的物源层进行勘测, 查明了三道沟泥石流主沟及 I 支沟地下地质体中松散物源层的厚度, 并通过槽探验证, 证明了高密度电法勘探结果的可靠性与有效性, 为今后该泥石流沟地质灾害的预防和治理提供了准确的依据。

关键词: 三道沟; 泥石流; 高密度电法; 物源层

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2019)03-0054-06

Exploration and effectiveness analysis of high-density resistivity method on loose deposits in Sandaogou debris flow ditch

LIU Caiwei

(Geological Institute of Beijing, Beijing 100120, China)

Abstract: Sandaogou Debris Flow Valley is located in Qifengcha Village, Liulimiao Town, Huairou District of Beijing. It is a prone and high-incidence area of debris flow geological disasters. There have been many debris flow geological disasters in history. This paper investigates the debris flow gully in Sandaogou by using high density electrical method, and finds out the thickness of loose source layer in the main gully of Sandaogou debris flow and the underground geological body of branch I. The reliability and validity of the exploration result of high density electrical method are proved by the validation of trough exploration, which provides an accurate basis for the prevention and treatment of the geological hazards in Sandaogou debris flow gully in the future.

Keywords: Sandaogou; debris flow; high density electricity method; source layer

0 序言

近年来,北京市受极端天气频发、人类工程活动频繁等因素影响,尤其是北京“7·21”特大暴雨引发多处山洪泥石流灾害,北京市山区和半山区成为泥石流灾害的易发和高发区。随着山区农家院及旅游业的不断发展,人类活动范围不断向山区扩展,爆发泥石流灾情险情的数量显著增加^[1-5]。据不完全统计,近 150 年

来北京山区已发生近 60 场泥石流灾害,平均爆发周期约为 1.8 年,2012 年 7 月 21 日北京特大暴雨引发多处山洪泥石流灾害,造成 160.2×10^4 人受灾,经济损失达 116.4×10^8 元^[6]。

有利的沟谷地貌、充足的松散物源及突发的水力条件是泥石流爆发的三个先决条件^[7],而先决条件中的松散物源储量则是预测泥石流发展趋势、灾害规模的基本因素。目前,对于勘测地下松散物源储量的传

收稿日期: 2019-01-04; 修订日期: 2019-02-21

作者简介: 刘才伟(1992-),男,江西上饶人,硕士研究生,主要从事地质灾害的调查与评价工作. E-mail:289092817@qq.com

统方法中的钻探和槽探虽能直观了解地下地质体之间的接触关系和分布情况,得出详实、准确的数据,但在面积范围广、地形起伏大的泥石流沟中进行探测则费用高昂、效率低下。

而高密度电法作为一种在国内外广泛使用的成熟技术,在工程地质、水文地质、环境地质及矿产资源勘查中不仅具有效率高、成本低、结果显示直观、地质效果明显等特点,且在一些地形起伏较大、地质结构复杂的地区,高密度电法也能廉价高效地的完成勘测任务。前人已多有应用^[8-16]:刘晓东等^[8]2002年在宜春市岩溶地质调查中应用高密度电法勘测出了可溶岩区、了解基岩岩溶发育情况;曹新文等^[10]2018年在山东蓬莱玄武岩覆盖区应用高密度电法探测出勘探区内具备较好的地下水蓄水构造条件,指导了当地打井取水;RITA DEIANA等^[12]2007年在研究农业污染源在地下扩散的规律试验中应用高密度电法对土体进行探测,得出了污染源在地下的扩散路径和残留情况,为农业

污染治理提供了理论支持;YUAN J 等^[11]2000 年在墨西哥湾勘探海底天然气水合物中应用高密度电法探测,成功发现了天然气水合物矿床的赋存位置。

本文通过使用高密度电法在崎峰茶三道沟松散物源层勘测中的应用,查明了松散物源层的物理性质及厚度,为今后该泥石流灾害防治工程的设计、施工提供了可靠依据。

1 研究区地质概况及地球物理特征

三道沟泥石流沟位于北京市怀柔区北部的琉璃庙镇崎峰茶村,所处区域为低山地貌,区内地形变化较大,海拔高程 486.1 ~ 808.4 m,山沟切割深度一般小于 100 m,具有山顶尖、山脊窄、沟谷宽等特点,平均坡度 25.66°。三道沟泥石流沟主要分为四个区域,即泥石流沟主沟、泥石流沟Ⅰ支沟、泥石流沟Ⅱ支沟、泥石流沟Ⅲ支沟(图1)。

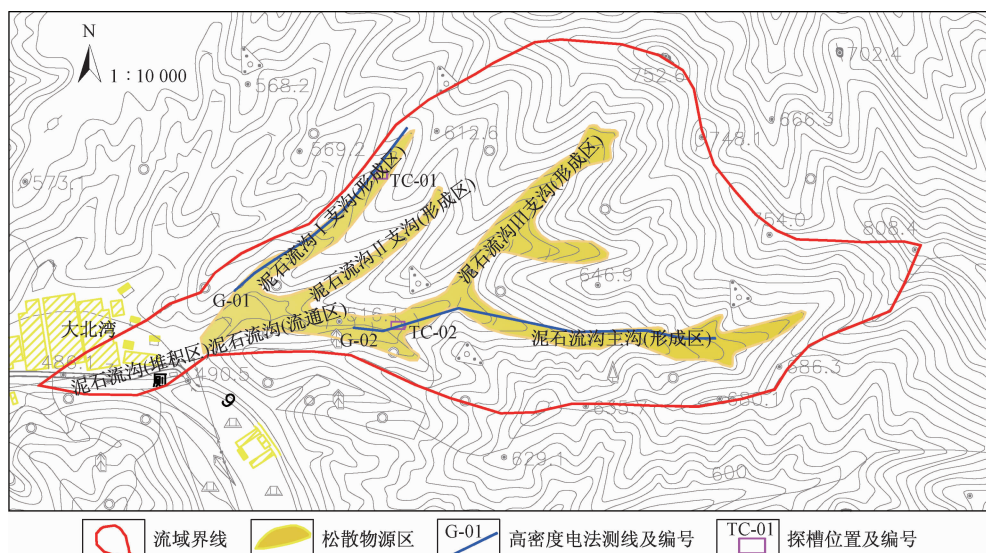


图 1 三道沟泥石流沟流域地形图

Fig.1 Topographic map of Sandaogou debris flow valley

沟床种植玉米、板栗等植物,坝阶地之间垒有干砌石挡土墙,挡土墙高 0.6~1.5 m 不等。沟内地下水以孔隙水、基岩裂隙水为主。

三道沟沟内出露的地层由老至新有太古代、中上元古代、中生代和第四系。其地层岩性主要为花岗岩和白云岩。其中,花岗岩主要为中生代侵入的二长花岗岩;白云岩主要为元古代长城系白云岩。流域内的第四系主要分布于各主要沟道沟床,少量为残坡积物,多数为全新统冲积、冲洪积碎石、砂卵石、亚黏土沉

积物,厚度 0 ~ 20 m,分选性差。

在明确流域内地层岩性分布状况的基础上,对流域内岩土体电阻率进行测量得知:第四系残坡积物及强风化岩体 $50 \sim 400 \Omega \cdot \text{m}$;白云岩: $700 \sim 1\,300 \Omega \cdot \text{m}$;中等风化花岗岩 $1\,100 \sim 2\,000 \Omega \cdot \text{m}$;微风化及新鲜花岗岩 $> 2\,700 \Omega \cdot \text{m}$;砂卵石 $2\,640 \sim 3\,080 \Omega \cdot \text{m}$ 。流域内岩土体之间电阻率存在明显的差异,为高密度电法的探测提供了地球物理基础。

2 高密度电法

2.1 高密度电法原理

高密度电法是常规电阻率法的一个变种,就其原理而言,与常规电阻率法完全相同,仍然以岩、矿石的电性差异为基础,通过观测和研究人工建立的地下稳定电场的分布规律来探测水文、环境和工程地质条件。当人工向地下加载直流电流时,在地表利用相应仪器观测其电场分布,通过研究这种人工施加电场的分布

规律来探测地质条件。

高密度电法实际上是一种阵列勘探方法,是多种排列的常规电阻率法与资料自动处理相结合的一种综合方法。图2为高密度电法测量系统示意图。由于高密度电法可以实现数据的快速采集和微机处理,从而改变了电法勘探的传统工作模式,大大提高了工作效率,减轻了劳动强度,使电法勘探的智能化程度向前迈进了一步。

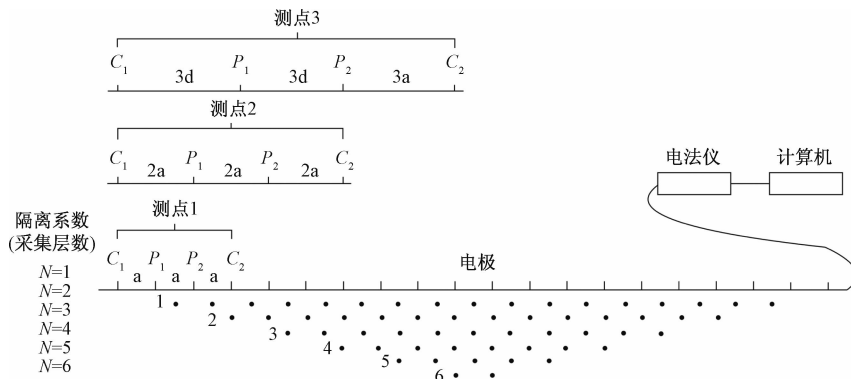


图2 高密度电法温纳(α)装置野外测量系统示意图^[17]

Fig.2 The wenner high-density electrical field measurement system device indicate (α)^[17]

高密度电法工作时,其供电电极与测量电极是一次性布设完成的。通常情况下,经由仪器的电极转换开关控制,排列中的某两根电极既作为供电电极 AB,在下一组组合测量时又要作为测量电极 MN。在现场测量时,只须在预先选定的测线上,将全部电极设置在一定间隔的测点上,然后选择合适的装置类型和电极距,仪器便可进行自动化数据采集。再配上相应的数据处理、成图 and 解释软件,便能够完成给定的探测任务。

2.2 测线布设

由于大北湾三道沟泥石流沟流域地形起伏较大、沟道窄、植被密集且支沟众多,为更好的探明泥石流流域中松散物源的储量,经现场实地勘选,并结合地质资料,决定对三道沟主沟及 I 支沟进行布线探测,其中三道沟主沟测线长 475 m,三道沟 I 支沟测线长 350 m。

2.3 数据的采集和处理

本次探测采用 EDGMD-2(120 道)分段集中式(级联式)高密度电法测量系统,电极多数布设于板栗树林坝阶地中的耕土上,少数电极布设在坝阶地之间的碎石土上,接地电阻普遍较小。通过野外实地勘测,确定采集数据所设置参数如下:(1)探测模式选用温纳

装置(α);(2)电极极距设定为 5 m;(3)供电电压为 220 V;(4)最深采集层数 30 层。

高密度电法所采集的数据是由地下不同地质体之间的电性差异而构成的电性剖面,故而测量数据受地下地质体之间的分布状况影响,还受探测地形的起伏度、周围电场的干扰程度等因素影响。因此,在数据探测结束后会对数据进行删除突变点等后期分析处理,使探测数据真实可靠。本次应用 RES2DINV (2D&3D)软件对探测数据进行处理,RES2DINV 主要设置参数如下:初始阻尼系数 0.16,最小阻尼系数 0.015;阻尼系数随深度增加递增系数设置为 1.05 倍;不限制视电阻率值范围,使用平均值;垂直/水平平滑滤波比设置为 1.0;有限元网格形状选择为三角形,2 个节点;线性搜索法均方根误差最小变化为 0.4%。数据处理流程见图 3。

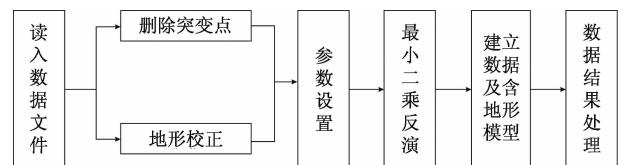


图3 高密度数据处理流程图

Fig.3 High-density data processing flow chart

3 数据处理及讨论

对三道沟主沟及 I 支沟进行正反演计算,选取接近实际的迭代次数 2 形成的电阻率断面图^[15](图 4、图 5)。

3.1 三道沟主沟

图 4 为三道沟主沟电阻率反演断面图。从电阻率反演断面图中可以看出,电阻率在横向上变化不明显,

在纵向上有随着深度的加深电阻率增大的趋势。推测浅表松散层低电阻体($\rho_s < 525 \Omega \cdot m$)为第四系残坡积物或全风化岩体,浅表松散层下伏 30 ~ 120 m 处、195 ~ 440 m 处的高电阻体($\rho_s > 5\ 116 \Omega \cdot m$)为新鲜花岗岩,在此两处高电阻体之间的低阻体,且其深部较深,推测为含裂隙水的中等风化花岗岩($1\ 122 \Omega \cdot m < \rho_s < 2\ 396 \Omega \cdot m$)。

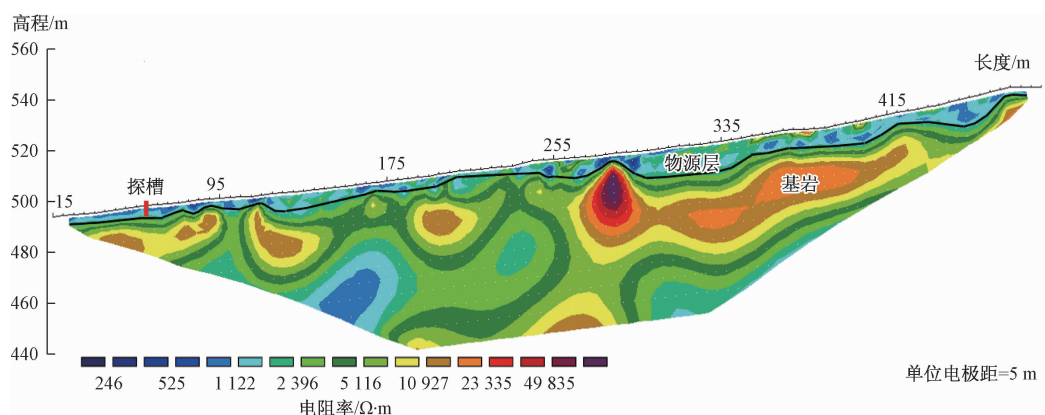


图 4 三道沟主沟电阻率反演断面图

Fig. 4 The back analysis process map of the measurement wenner in Sandaogou Main Channel

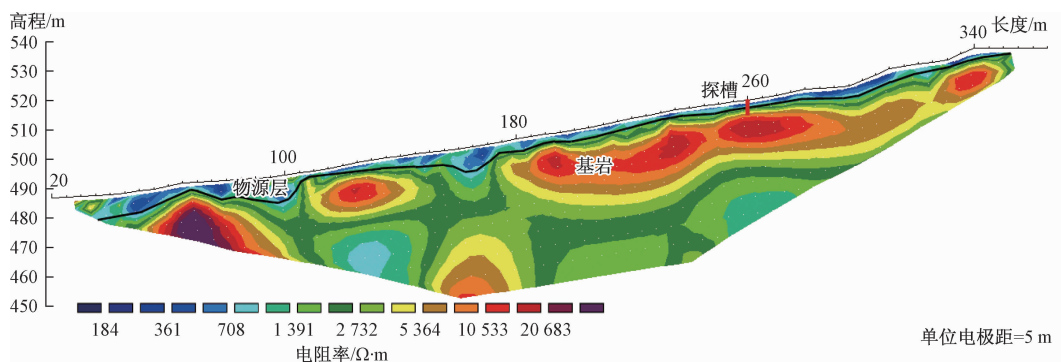


图 5 三道沟 I 支沟电阻率反演断面图

Fig. 5 The back analysis process map of the measurement wenner of Tributary I in Sandaogou

3.2 三道沟 I 支沟

图 5 为三道沟 I 支沟电阻率反演断面图。从电阻率反演断面图可以看出,电阻率在横向变化不大,主要为纵向电阻率呈较为明显的三层分布。结合流域内不同岩土体之间电阻率的差异与沟道实际环境,表层深度 1.5 ~ 5 m 左右为低电阻区域($\rho_s < 361 \Omega \cdot m$)为第四系残坡积物或全风化岩体,表层局部中电阻体($2\ 732 \Omega \cdot m < \rho_s < 5\ 364 \Omega \cdot m$)为砂卵石;中部(往下厚 20 m 左右)为中高电阻区域,在 100 ~ 145 m、175 ~ 350 m 处为新鲜花岗岩体($\rho_s > 5\ 364 \Omega \cdot m$),再往下中

电阻推测为含裂隙水的中等风化花岗岩或白云岩。

根据三道沟主沟及 I 支沟测线电阻率反演断面图分析,认为三道沟泥石流沟地下地质体中的松散物源层由表层土体(第四系残坡积物、全风化岩体)、表层砂卵石及部分土体下伏的破碎的含裂隙水的强风化岩体。三道沟主沟地下地质体中松散物源层厚度在 1.2 ~ 9 m,松散物源在沟道中游往上厚度有明显增厚的趋势,三道沟 I 支沟松散物源层相对较为均衡,物源层在电阻率剖面上可以看出下游坝阶地耕地物源层较厚,中上游厚度较小。

4 槽探验证

为验证高密度电法在三道沟松散物源层探测中得出的数据的有效性,在三道沟 I 支沟 260 m 处、三道沟主沟 60 m 处布设槽探(TC01、TC02),TC01 挖深 3 m,在 2.3 m 处见松散层(岩体全风化而成的残积土)与基岩分界面,与高密度电法解译推测的分界面 2.9 m 相差 0.6 m。TC02 挖深 2.5 m,在 1.5 m 处见松散层与基岩分界面,与高密度电法解译推测的分界面 2.3 m 相差 0.8 m。综上所述,高密度电法勘探与槽探编录所揭示的地下地质体的信息相吻合,两者存在的误差值属于正常范围,佐证了高密度电法在泥石流沟物源层厚度的勘查中的勘测数据的可靠性与准确性。

5 结论

(1)高密度电法适用于勘探区范围广、地形起伏大等周遭环境恶劣的山谷地貌,探测深度深、数据成果清晰明了,在泥石流沟流域探测中具有广阔的应用前景。

(2)使用了槽探技术对高密度电法勘探结果进行有效性验证,证实了高密度电法在泥石流沟物源层厚度的勘查中的勘测数据可靠,可为该沟道今后泥石流的预防和治理提供参考借鉴作用。

参考文献:

- [1] 刘传正. 关于暴雨引发灾害的几点思考[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2012, 23(3): 125-126
LIU Chuansheng. Some thoughts on disasters caused by heavy rain [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2012, 23(3): 125-126.
- [2] 刘传正. 基于北京暴雨灾害的几点思考[J]. 中国减灾, 2012(9): 32-33.
LIU Chuansheng. Some thoughts on rainstorm disaster in Beijing [J]. Disaster Journal in China, 2012(9): 32-33.
- [3] 赵越, 冉淑红. 北京门头沟区涧沟泥石流危险性调查评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2014, 25(2): 37-42.
ZHAO Yue, RAN Shuhong. Debris flow hazard investigation and evaluation in Mentougou, Beijing [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2014, 25(2): 37-42.
- [4] 白利平, 孙佳丽, 南赞. 北京地区泥石流灾害临界雨量阈值分析[J]. 地质通报, 2008, 27(5): 674-680.

- BAI Liping, SUN Jiali, NAN Yun. Analysis of the critical rainfall thresholds for mudflow in Beijing, China [J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(5): 674-680.
- [5] 白利平, 南赞, 孙佳丽. 北京市泥石流灾害临界雨量研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2009, 18(2): 34-36.
BAI Liping, NAN Yun, SUN Jiali. Research on critical rainfall of debris flows in Beijing [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2009, 18(2): 34-36.
- [6] 何媛, 袁爱萍, 胡影, 等. 北京泥石流沟道现状调查及特征分析[J]. 中国水利, 2013, 21: 49-51.
HE Yuan, YUAN Aiping, HU Ying, et al. Investigation and analysis of the debris flow gullies in Beijing [J]. China Water Resources, 2013, 21: 49-51.
- [7] 罗守敬, 张国华. 北京月玉沟潜在泥石流特征及其动力学指标[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2016, 27(1): 44-48.
LUO Shoujing, ZHANG Guohua. Exploration and analysis of movement condition of Yueyugou potential debris flow [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2016, 27(1): 44-48.
- [8] 刘晓东, 张虎生, 黄笑春, 等. 高密度电法在宜春市岩溶地质调查中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2002, 13(1): 72-75.
LIU Xiaodong, ZHANG Husheng, HUANG Xiaochun, et al. The application of high density electrical method to karst geological survey in Yichun City [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2002, 13(1): 72-75.
- [9] 刘晓东. 高密度电法在工程物探中的应用[J]. 工程勘察, 2001(4): 64-66.
LIU Xiaodong. Application of high density electricity method in engineering geophysical exploration [J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2001(4): 64-66.
- [10] 曹新文, 马秀敏, 彭华, 等. 山东蓬莱玄武岩覆盖区高密度电法找水效果分析[J]. 地球物理学进展, 2018, 33(6): 2528-2534.
CAO Xinwen, MA Xiumin, PENG Hua, et al. Effect analysis of high-density resistivity method to groundwater exploration in basalt area Penglai Shangdong province [J]. Progress in Geophysics, 2018, 33(6): 2528-2534.
- [11] YUAN J, EDWARDS R N. The assessment of marine

- gas hydrates through electrical remote sounding: Hydrate without a BSR [J]. Geophysical Research Letters, 2000, 27: 2397 – 2400.
- [12] RITA DEIANA, GIORGIO CASSIANI, ANDREAS KEMNA, et al. An experiment of noninvasive characterization of the vadose zone via water injection and crosshole time-lapse geophysical monitoring [J]. Near Surface Geophysics, 2007(5): 183 – 194.
- [13] 王玉清. 综合物探在高层建筑选址工作中的应用 [J]. 河南地质, 2001, 3: 208 – 211.
WANG Yuqing. The application of comprehensive physical prospecting in selecting address on high building [J]. Henan Geology, 2001, 3: 208 – 211.
- [14] 杨湘生. 高密度电法在湘西北岩溶山区找水中的应用 [J]. 湖南地质, 2001, 3: 230 – 232.
YANG Xiangsheng. Application of higher density E – Phase method for prospecting underground water in karst mountain area in northwestern hunan [J]. Hunan Geology, 2001, 3: 230 – 232.
- [15] 张献民. 应用高密度电法探测煤田陷落柱 [J]. 物探与化探, 1994, 5: 363 – 370.
ZHANG Xianmin. The Application of high-density electrical method to the detection of coalfield depressed pillars [J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 1994, 5: 363 – 370.
- [16] 吕惠进, 刘少华, 刘伯根. 高密度电阻率法在地面塌陷调查中的应用 [J]. 地球物理学进展, 2005, 20(2): 381 – 386.
LYU Huijin, LIU Shaohua, LIU Bogen. Application of resistivity tomography survey method in detecting ground subsidence [J]. Progress in Geophysics, 2005, 20(2): 381 – 386.
- [17] 张光保. 褚家营巨型滑坡的高密度电法勘察及效果分析 [J]. 地球物理学进展, 2012, 27(6): 2716 – 2721.
ZHANG Guangbao. Exploration and effectiveness analysis of high-density resistivity method on Chujiaying giant landslide site [J]. Progress in Geophysics, 2012, 27(6): 2716 – 2721.

《中国地质灾害与防治学报》第七届编委会

主 任: 马 军 主 编: 殷跃平

副 主 任: 张作辰

副 主 编: 刘传正 唐辉明 李铁锋 文宝萍 许 强 李 晓 李善峰

委 员: 马凤山 马 军 王立朝 王来贵 王贤能 王树仁 王 清 王雁林 牛瑞卿 文宝萍
乔建平 向喜琼 刘东升 刘传正 刘新荣 祁生文 许 强 李 忠 李 晓 李铁锋
李善峰 李 滨 杨湘奎 何发亮 余志山 宋 军 张永波 张进德 张作辰 张茂省
陈 平 陈红旗 陈昌彦 陈昌富 范 文 范宏喜 周平根 赵松江 胡凯衡 胡卸文
胡新丽 姜月华 聂洪峰 贾永刚 夏元友 钱江澎 徐则民 殷跃平 唐辉明 黄波林
曹修定 龚士良 温铭生 雷明堂 路新景 裴向军 薛翊国 魏云杰(以姓氏笔画为序)